

SPIRAL LEG1 : OBJECTIFS ET PERSPECTIVES D'EXPLOITATION DES DONNEES DE SISMIQUE REFLEXION MULTITRACE

Sage Françoise¹, Yelles Abdelkarim², Graindorge David³, Bracène Rabah⁴, Klingelhoef Frauke⁵, Déverchère Jacques², et l'ensemble des participants à la campagne d'acquisition SPIRAL

¹UPMC-Géoazur, BP48, 06 235 Villefranche-sur-Mer cedex, France. sage@geoazur.obs-vlfr.fr

²CRAAG, Route de l'Observatoire B.P. 63, Bouzareah, Alger, Algérie, E-Mail : a.yelles@craag.dz

³UBO-IUEM, Technopôle Brest-Iroise, Pl. Copernic, F-29280 Plouzané, France,

E-Mail: graindor@univ-brest.fr

⁴Sonatrach, Av. du 1^{er} Novembre Bat C - BP 69M, Boumerdes, Algérie,

E-Mail : rabah.bracene@ep.sonatrach.dz

⁵Ifremer, DRO/GM, B.P. 70. F-29280 Plouzané, France, E-Mail : Frauke.Klingelhoef@ifremer.fr

Résumé -Le programme franco-algérien SPIRAL (Sismique Profonde et Investigation Régionale du Nord de l'Algérie) vise à étudier la structure crustale profonde de la marge algérienne et du domaine océanique adjacent, par la mise en oeuvre de méthodes sismiques de forte pénétration. Nous établissons ici un bilan des données de sismique réflexion multitracées acquises au cours de la campagne qui s'est déroulée en 2009 à bord du N/O l'Atalante. Les profils enregistrés, qui s'étendent de la frontière marocaine à la frontière tunisienne, montrent des réflecteurs crustaux jusqu'au Moho sous la marge et le bassin profond et complètent ainsi l'important set de données de sismique haute-résolution déjà existant. Les traitements envisagés dans le futur visent à analyser finement la structure crustale de l'offshore algérien pour le but de faire progresser notre connaissance de l'aléa sismique et du potentiel pétrolier de l'offshore algérien, ainsi que de préciser l'évolution géodynamique de la région.

Mots clés- marge continentale, bassin algérien, sismique, failles, ressources naturelles

LA MARGE NORD-ALGERIENNE ET LES OBJECTIFS DU PROJET SPIRAL

Le nord de l'Algérie se situe le long d'une frontière de plaque majeure issue d'une histoire géologique récente, de l'Oligo-Miocène à l'actuel. L'ouverture du bassin nord-Algérien en position arrière arc, permet la migration vers le Sud puis l'accrétion le long de la bordure nord-africaine d'un fragment de la marge européenne (Boccaletti et Guazzone, 1974 ; Bouillin et al., 1986). La compression liée à la convergence Afrique-Europe se focalise ensuite le long de ce domaine, qui concentre actuellement la presque totalité de la déformation liée à la convergence des plaques en Méditerranée Occidentale. La géodésie et la sismotectonique montrent que le raccourcissement se répartit aujourd'hui entre les domaines terrestre (~3 mm/an) et marin (~2 à 3 mm/an) du nord algérien (Noquet et al, 2004). Dans ce cadre, les données de sismique profonde acquises au sein du projet SPIRAL doivent apporter :

- Une meilleure connaissance de la structure crustale profonde, pour mieux appréhender l'histoire complexe et polyphasée de la marge et du bassin adjacent. Il s'agira notamment de comprendre comment, depuis le Miocène, la frontière de plaque a migré de l'amont vers l'aval de la marge nord-algérienne, qui n'est plus une marge passive et semble évoluer vers une zone de subduction (Auzende et al. 1975).
- Une meilleure connaissance de l'aléa sismique en mer : du fait de cette situation particulière, le nord de l'Algérie est le siège d'une tectonique active aux séismes destructeurs, dont certains générés en mer, comme celui de Boumerdes en 2003 (Ayadi et al., 2003). Il s'agira de préciser (1) les modalités de la déformation profonde le long de la marge segmentée, (2) comment la déformation crustale interagit avec la déformation

salifère enracinée sur la couche de sel Messinien intercalée dans les sédiments et qui découple la déformation, et enfin (3) la localisation des failles potentiellement dangereuses en mer.

- Une meilleure connaissance du potentiel en ressources pétrolières du domaine offshore: l'histoire géodynamique du domaine marin, ainsi que son évolution thermique, ont pu en effet fournir les conditions de la genèse et de la maturation d'hydrocarbures.

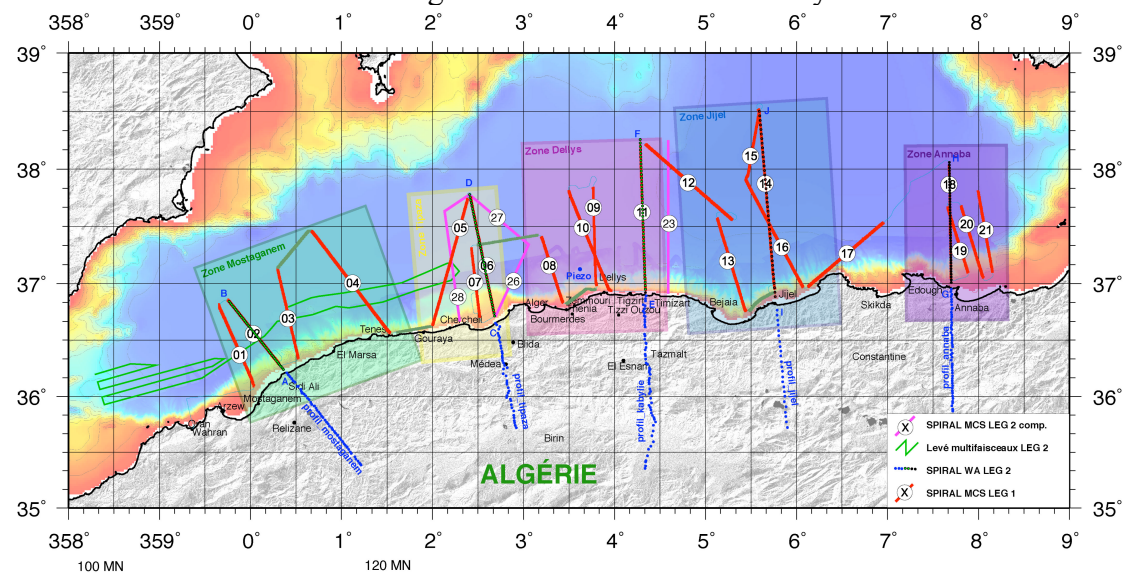


Figure 1 : Localisation des profils de sismique réflexion multitrace (en rose et rouge) acquis au cours des deux legs de la campagne SPIRAL en complément de données de sismique grand-angle terre-mer (en bleu).

LES DONNEES SISMIQUE REFLEXION MULTITRACES SPIRAL

Durant les deux legs de la campagne SPIRAL conduite de Septembre à Novembre 2009, à bord du N/O français l'Atalante, environ 2300 km de profils de sismique marine ont été enregistrés (Figure 1). Ces profils s'étendent de la frontière marocaine à la frontière tunisienne, depuis la bordure du plateau continental jusqu'à 150 km dans le bassin profond. Ils ont été positionnés chaque fois que possible sur les profils de sismique haute-résolution des campagnes MARADJA, afin d'observer le prolongement en profondeur des structures superficielles déjà imagées et cartographiées (Déverchère et al., 2005 ; Domzig et al., 2006 ; Yelles et al., 2009).

Lors des acquisitions SPIRAL, le signal était enregistré par une flûte 360 traces de 4,5 km de long. Pour l'essentiel des profils enregistrés (21/28), une source dite « monobulle » a été utilisée. Dans le dispositif monobulle, les canons sont synchronisés sur la première oscillation de bulle. Ce dispositif particulier vise à renforcer les basses fréquences pénétrantes (Avedik et al., 1993), afin d'imager les structures crustales profondes. Cette source, constituée de 13 canons à air, totalisait un volume de ~3000 cubic inches. Pour les 7 autres profils, les canons ont été synchronisés sur le pic d'émission du signal, de manière à améliorer la résolution au détriment de la pénétration, afin d'obtenir des informations complémentaires.

L'ensemble des profils a subi un traitement préliminaire incluant: restitution des gains, analyses de vitesse et correction NMO (Normal Move Out), mute externe, sommation en couverture multiple (couverture 45), migration post-sommation, et filtrage en fréquences.

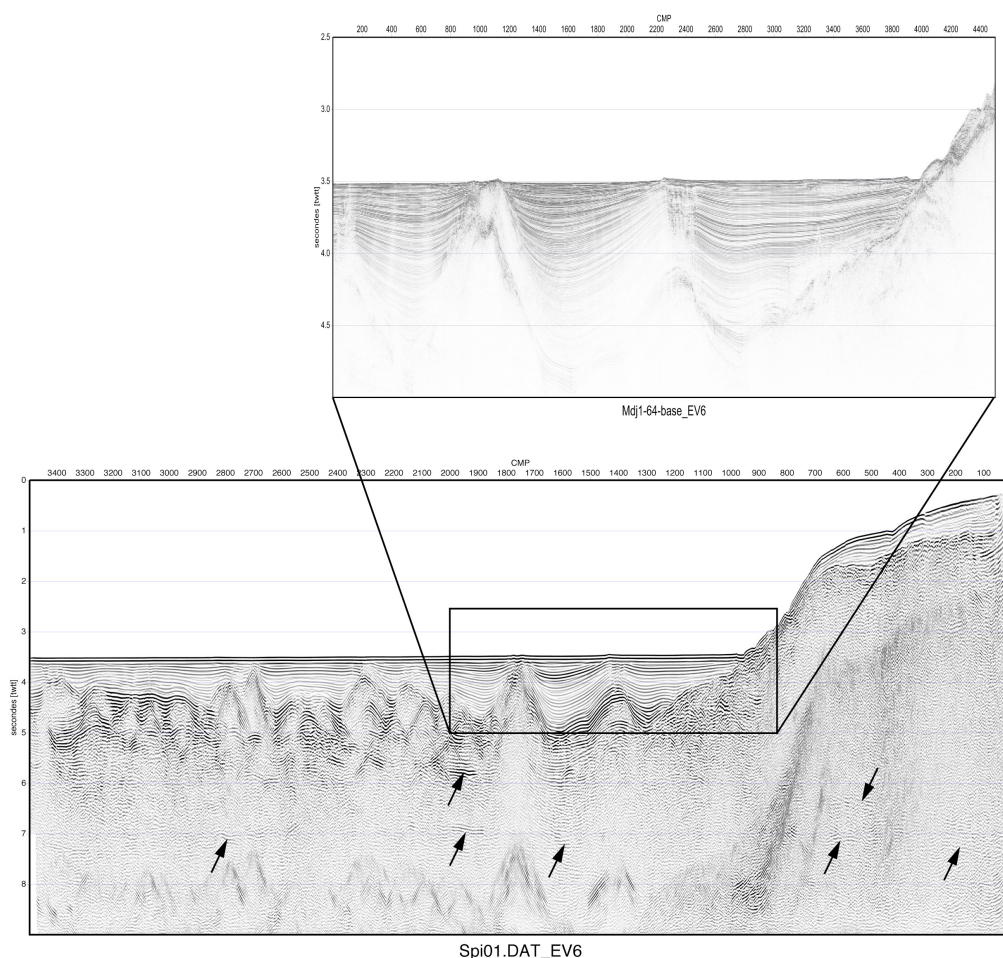


Figure 2 : Comparaison des profils complémentaires Mdjl-64 (sismique haute-résolution, MARADJA-1) et SPI01 (sismique pénétrante, SPIRAL), tirés au large de Mostaganem. Les flèches noires indiquent des réflecteurs profonds, dont le Moho probable, sous la marge et le bassin profond.

PREMIERS RESULTATS ET TRAVAUX FUTURS

A l'issue des traitements préliminaires, les données s'avèrent de très bonne qualité. Par rapport aux données académiques haute-résolution des campagnes MARADJA et SAMBA, elles montrent plusieurs apports significatifs. D'une part dans le bassin profond, le signal permet d'imager la structure crustale sous le sel Messinien, révélant ainsi des structures crustales du bassin profond jusqu'alors non imagées (Figure 2). Par ailleurs du signal cohérent, observé aux alentours de 7 std (secondes temps double) de profondeur, interprété comme le Moho, est observé de manière *quasi*-continue sur l'ensemble de la zone d'étude (Figure 2). Enfin, l'enracinement en profondeur des structures superficielles identifiées lors des précédents travaux devrait être donné par les nombreux réflecteurs crustaux visibles entre le toit du socle et le Moho. Ces observations sont indispensables pour comprendre comment le nord de l'Algérie, et en particulier les structures de la marge dans le domaine offshore, sont remobilisées par la compression. Enfin, le prolongement des profils vers le centre du bassin profond, bien au delà des précédentes acquisitions, devrait permettre de définir les limites des grands domaines lithosphériques juxtaposés dans le domaine marin, et ainsi de mieux appréhender l'évolution cinématique complexe de la zone, aux interprétations toujours discutées.

Pour atteindre ces objectifs, différents traitements spécifiques des données doivent être menés au cours des prochaines années. Ces traitements doivent d'une part améliorer la

qualité des images sismiques, afin de mieux identifier les réflecteurs et préciser leurs géométries. Un point fondamental sera l'exploitation conjointe de ces données avec les données de sismique grand-angle acquises durant la même campagne. En particulier, des analyses fines de vitesses combinées aux modèles de vitesses issus de la sismique grand-angle permettront de réaliser la migration avant sommation des données (Pre-Stack Depth Migration (PSDM), méthode Ray-born) afin de produire une image en profondeur jusqu'en base de croûte, qui donnera la géométrie réelle des structures crustales (e.g. Agudelo et al., 2009). Cette géométrie sera une contrainte essentielle d'une part pour des modèles de déformation de la marge mais aussi et surtout pour la connaissance des failles actives de l'offshore algérien. Par ailleurs la combinaison de l'image sismique avec les paramètres physiques du sous-sol qui pourront être déduits des modèles de vitesses devrait apporter des contraintes décisives quant à l'interprétation des données en termes de ressources en hydrocarbures, de nature de croûte, ou encore de propriétés physiques des failles (e.g. Calahorrano et al., 2008). Six thèses en co-tutelles franco-algérienne ont débuté récemment pour développer ces traitements sur les différents sets de données acquis.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les commandants du N/O Atalante J.-R. Glehen et M. Houmard et leurs équipages ainsi que les équipes techniques « Source », « Electronique », et « Sismique » GENAVIR pour le bon déroulement des opérations en mer. Nous remercions également l'ensemble des partenaires ainsi que les différents services ministériels français et algériens qui par leur coopération ont permis le développement et la réalisation de ce projet de coopération franco-algérien.

REFERENCES

- Agudelo, W., Ribodetti, A., Collot, J.-Y. & Operto, S. (2009) Joint inversion of multichannel seismic reflection and wide-angle seismic data: Improved imaging and refined velocity model of the crustal structure of the north Ecuador–south Colombia convergent margin, *J. of Geoph. Res., Solid Earth*, vol. 114, pp. B02306.
- Ayadi, A., Maouche, S., Harbi, A., Meghraoui, M., Beldjoudi, H., Oussadou, F., Mahsas, A., Benouar, D., Heddar, A., Rouchiche, Y., Kherroubi, A., Frogneux, M., Lammali, K., Benhamouda, F., Sebaï, A., Bourouis, S., Alasset, P.J., Aoudia, A., Cakir, Z., Merahi, M., Nouar, O., Yelles, A., Bellik, A., Briole, P., Charade, O., Thouvenot, F., Semane, F., Ferkoul, A., Deramchi, A., and Haned, S.A. (2003) Strong Algerian earthquake strikes near capital city, *EOS Trans. AGU* 84 (50) (2003) 561–568.
- Boccaletti, M., and Guazzone, G. (1974) Remnant arcs and marginal basins in the Cenozoic development of the Mediterranean, *Nature*, 252, 18-21.
- Bouillin, J.P. (1986) Le "bassin maghrébin" : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'Ouest des Alpes, *Bull. Soc. Géol. France*, (8), t. II, 4, 547-558.
- Avedik, F., Renard, V., Allenou, J.P. & Morvan, B. (1993) Single bubble air-gun array for deep exploration, *Geophysics*, 58, 366–382.
- Calahorrano, A., Sallares, V., Collot, J.-Y., Sage, F. & Ranero, C.R. (2008) Nonlinear variations of the physical properties along the southern Ecuador subduction channel: results from depth-migrated seismic data. *Earth Planet. Sc. Lett.*, vol. 267, n°3-4, pp. 453-467.
- Déverchère, J., Yelles, K., Domzig, A., Mercier de Lépinay, B., Bouillin, J.P., Gaullier, V., Bracène, R., Calais, E., Savoye, B., Kherroubi, A., Le Roy, P., Pauc, H., and Dan, G. (2005) Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L04311, doi:10.1029/2004GL021646.
- Domzig, A., Yelles, K., Le Roy, C., Déverchère, J., Bouillin, J.P., Bracène, R., Mercier de Lépinay, B., Le Roy, P., Calais, E., Kherroubi, A., Gaullier, V., Savoye, B., and Pauc, H. (2006) Searching for the Africa-Eurasia Miocene boundary offshore western Algeria (MARADJA'03 cruise), *C. R. Geosciences*, 338, 80-91.
- Nocquet, J.-M., and Calais, E. (2004) Geodetic measurements of crustal deformation in the western Mediterranean and Europe, *Pure Appl. Geophys.*, 161, 661-681, doi:10.1007/s00024-003-2468-z.
- Yelles, A., Domzig, A., Déverchère, J., Bracène, R., Mercier de Lépinay, B., Strzeczynski, P., Bertrand, G., Boudiaf, A., Winter, T., Kherroubi, A., Le Roy, P., Djellit, H. (2009) Plio-Quaternary reactivation of the Neogene margin off NW Algiers, Algeria: the Khay-al-Dyn bank, *Tectonophysics*, 475, 98-116, doi:10.1016/j.tecto.2008.11.030.